

## 第8章 採果ハンドに関する実験

### 第1節 緒言

採果ハンドはマニピュレータの先端に装着され、対象物に直接作用をおよぼす装置である。採果ハンドの機構は、果実の大きさ、重さ、形状および果柄の寸法、切断抵抗など対象物の特性によって決定される<sup>1)</sup>。

採果ハンドの研究には下記のような事例がある。キュウリでは、果実の表皮が硬く離層部がないため、フィンガで果実を把持した後に、果実の上部に向かって接触センサで果柄を検出し、切断する機構がある<sup>2)</sup>。トマトでは、離層部からもぎ取るために、吸引パッドで果実を吸着し、フィンガで果実を把持して回転させる機構がある<sup>3)</sup>。ナスでは、果実がほぼ垂直に垂れた、果実基部を認識して上側に存在すると仮定した果柄を切断する機構がある<sup>4)</sup>。イチゴでは、吸引ヘッドで果実を吸引してカッター付きハンドを回転させて果柄を切り取る機構がある<sup>5)</sup>。

特にイチゴは果皮表面が非常に柔らかいため、果実を把持または吸引することは外観や内部の損傷が懸念されるので、果実に触れず、安全に果柄を検出して把持・切断できる採果ハンドが必要となる。果実までの距離計測<sup>6)7)8)</sup>および果柄の接近方法<sup>9)</sup>も試みたが、円錐形の果実、ヘタ、周辺の葉などによるノイズの影響がうかがわれた。

本章では、3タイプの採果ハンドを用いて、果柄の検出、果柄の把持、果柄の切断について果柄を検出して把持・切断できる最も適切な採果ハンドを選定するために、採果実験を行い、その有用性を検討した<sup>10)11)</sup>。

### 第2節 採果ハンドの設計

#### 1. 構造と機構

採果ハンドは図8-1に示すように、果柄の検出方向（垂直方向と水平方向）と把持・切断機構（押し切り型とハサミ切り型）を組み合わせる三つのタイプを試作した。畝面の検出は、果柄の検出方向が垂直である場合はセンサを直接使い、水平である場合は安全装置を加えた。果柄の検出用センサは、採果ハンドのコンパクト化を図るために、検出距離が

約 30mm の細径スリーブ型を選んだ<sup>12)</sup>。各タイプの仕様は表 8-1 に示す。

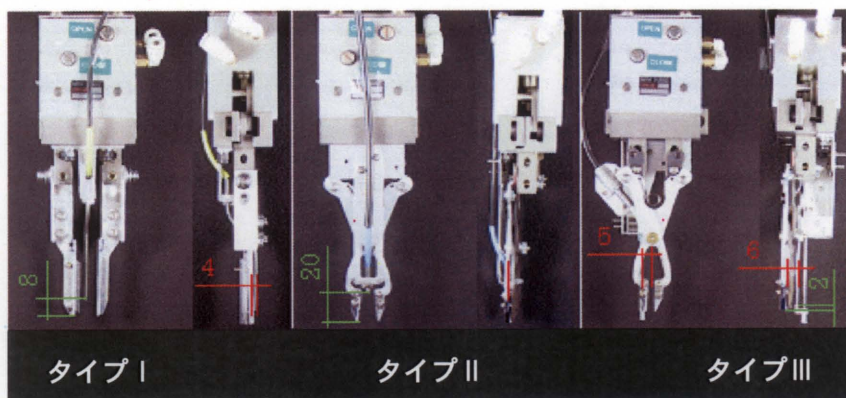


図 8-1 試作した採果ハンド

Fig. 8-1 Picking hand used in experiment

表 8-1 採果ハンドの仕様

Table 8-1 Specification of picking hand

摘採ハンド	切断方式	果柄の検出方向	果柄の検出センサ
タイプ I	押し切り型	垂直方向	反射型同軸 (KEYENCE社製 FU-63Z)
タイプ II	ハサミ切り型	垂直方向	反射型同軸 (KEYENCE社製 FU-66)
タイプ III	ハサミ切り型	水平方向	反射型同軸 (KEYENCE社製 FU-33)

タイプ I は、果柄の検出方向が垂直方向、把持・切断機構は押し切り型である。光ファイバセンサ (KEYENCE 社、反射型同軸、FU-63Z) の取り付け位置は、垂直方向で光ファイバセンサの先端から把持・切断機構の先までの距離が 8mm、水平方向で光ファイバセンサからフィンガまでの距離が 4mm である。

タイプ II は、果柄の検出方向が垂直方向、把持・切断機構はハサミ切り型である。光ファイバセンサ (KEYENCE 社、反射型同軸、FU-66) の取り付け位置は、垂直方向で光ファイバセンサの先端から把持・切断機構の先までの距離が 20mm、2 枚の「く字型」ハサミで出来た空洞に、ハサミと同じ平面にある。

タイプ III は、果柄の検出方向が水平方向、把持・切断機構はハサミ切り型である。光ファイバセンサ (KEYENCE 社、反射型同軸、FU-33) の取り付け位置は、垂直方向で光ファイバセンサの先端から把持・切断機構の先までの距離が 2mm、水平方向で光ファイバセンサ

からフィンガまでの距離が6mm、ハサミの支点までは5mmである。

本イチゴ収穫ロボットにおける採果ハンドの特徴は、果実に触れず果柄を把持・切断することである。そこで、採果ハンドは果柄および畝面の検出のためのセンサ、果柄を切断するハサミおよび把持するフィンガを一体化した構造とする。

採果ハンドの構造、機構、動作は、タイプⅢの採果ハンドを例にして、図8-2を用いて説明する。

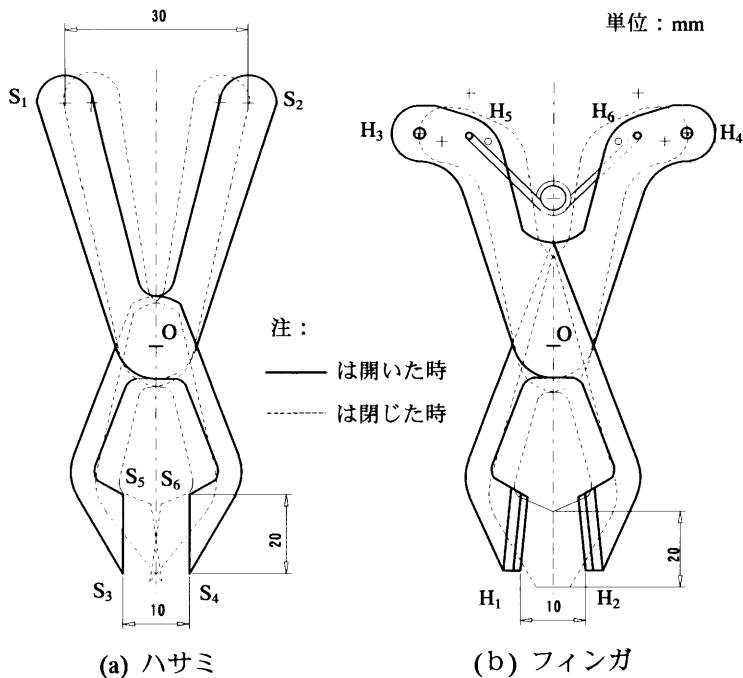


図8-2 ハサミとフィンガ

Fig. 8-2 Scissors and finger

(1)ハサミ

ハサミは図8-2(a)に示すように、①支点(O)が力点と刃先の間位置にあって、力点(S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>)の開き幅が30mm、刃先(S<sub>3</sub>, S<sub>4</sub>)の開き幅が10mmとなること、②切断刃の長さは20mmとし、開いたときに刃先から刃尻(S<sub>5</sub>, S<sub>6</sub>)までが同一幅で平行になること、③刃先から刃尻へ向かって切断することを満足することとした。切断フレームの構造は、ハサミ支点直下のフレーム内に果柄検出センサを設置する場合を考慮して空間ができるように「く」の字形とした。そのために、果柄の切断方向は刃先から刃尻の上向きとなり、切断中の果柄は下に落ちない利点がある。ハサミはステンレス鋼材で作製し、開閉はエアハンドで行う。

(2)フィンガ

フィンガは図 8-2 (b)に示すように、①ハサミと連動して、把持先( $H_1$ ,  $H_2$ )の開き幅が 10mm となること、②把持部の長さは 20mm として、閉じた状態では把持面が合わさることを満足することとした。把持部フレームの構造は、ハサミと同様に空間が出来るように「く」の字形とした。把持力はネジリバネの閉じ力を利用して果柄の直径の影響が少なく 60g までの果実を最適に把持・搬送できる力とした。フィンガはアルミ材で作製し、把持面には果柄を圧迫しすぎないように、ゴム板(厚さ 0.5mm)を貼った。

(3)採果ハンド

採果ハンドは図 8-3 に示すように、エアハンド、ハサミ、フィンガ、センサおよび安全装置から成る。ハサミの  $S_1$ ,  $S_2$  をエアハンドのレバーに取り付け、ハサミの前方にフィンガを固定する。この時、ハサミとフィンガは支点(O)を同軸として組み付け、フィンガの  $H_3$ ,  $H_4$  のピンはハサミの力点側のフレーム外辺と 2~3mm の隙間を持つように調整する。これによって、エアハンドのレバーの開きでハサミが開く時、フィンガのピンが外辺で押さ

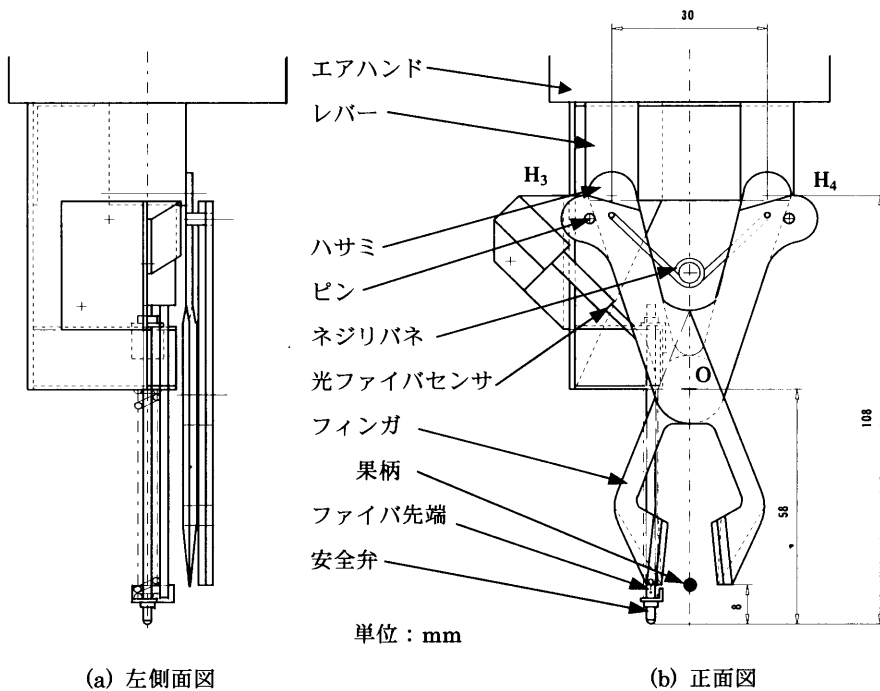


図 8-3 採果ハンド

Fig. 8-3 Picking hand

れてフィンガはハサミと連動して開くことになる。エアハンドのレバーが閉じる際はハサミも同時に閉じるが、フィンガはハサミと連動せずネジリバネの復元力で閉じられる。この復元力は把持力となる。よって、把持した果柄を過剰な力で押しつぶすことはない。

センサ先端は、フィンガ先端の側面位置に垂直に取り付け、採果ハンド内の果柄に側方から投光して検出する機構とした。採果ハンドが採果中に果柄を検出できない状態が生じた場合、採果ハンドが畝面に接触する直前でその降下を停止するための安全装置を取り付けた。安全装置の先端が畝面に接触すると安全装置が本センサに反応してZ軸を停止させるメカニズムとした。

なお、採果ハンドは $\alpha=0^\circ$ の時を初期位置として、この位置で果柄を把持・切断できる状態となるようにS軸へ取り付けた。

### 3. 動作

果柄認識の画像処理結果を用いた採果ハンドの動作は図8-4に示すように、次の動作で行なわれる。

- ① 採果ハンドは果柄のPへ水平移動し、S軸が $\alpha$ と一致する角度まで回転しながらPへ向かって降下する。
- ② 採果ハンドは初期位置から250mmまでは速く、果柄近くでは遅くなる二段階の速度で降下する。
- ③ センサがフィンガ内の果柄を検出すると停止する。エアハンドのレバーが閉じて、フィンガで果柄を把持すると、ハサミで果柄を切断する。なお、果柄が検出されなかった場合は、安全装置が作用して採果ハンドの降下を停止させ、工程①へ戻る。
- ④ 採果ハンドは果柄を把持して果実をベルトコンベア上へ運び、フィンガを開いて果実を排出する。

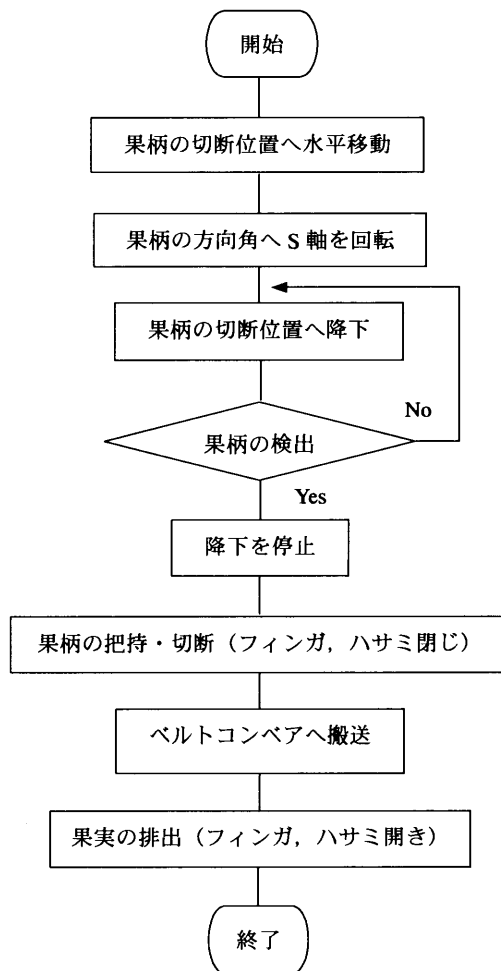


図 8-4 採果ハンドの動作フローチャート

Fig. 8-4 Flowchart of operation by picking hand

#### 4. 採果ハンドの制御

採果ハンドの制御は、自作プログラム (Visual C++6.0) を用いて、パーソナルコンピュータとコントロールボックス間のシリアル通信 (RS232C) を通じて、光ファイバセンサ、アクチュエータ、電子エアバルブを制御しながら、上記の採果ハンドの動作を自動化させたものである。

第 3 節 実験装置および方法

1. 供試イチゴ

イチゴは第 6 章と同様に、品種は‘章姫’であり、大きさ、熟度の区分基準は「宮崎いちご標準出荷規格表」を用い、果柄付き試料は冷蔵庫に保存した。採果ハンドの設計においては、対象物の物理特性を知る必要があるため、果柄の検出では果柄の直径を、果柄の把持では果柄の直径と果実の重さを、果柄の切断には果柄の直径を実験条件とした。供試イチゴの物理特徴は図 8-5 に示すように、果実の長さ、幅および果柄の直径がそれぞれ 25～70mm, 10～50mm, 0.5～3.0mm であった。また、果実の重さは 20～25g が多く、特大 3L では 60g のものもあった。

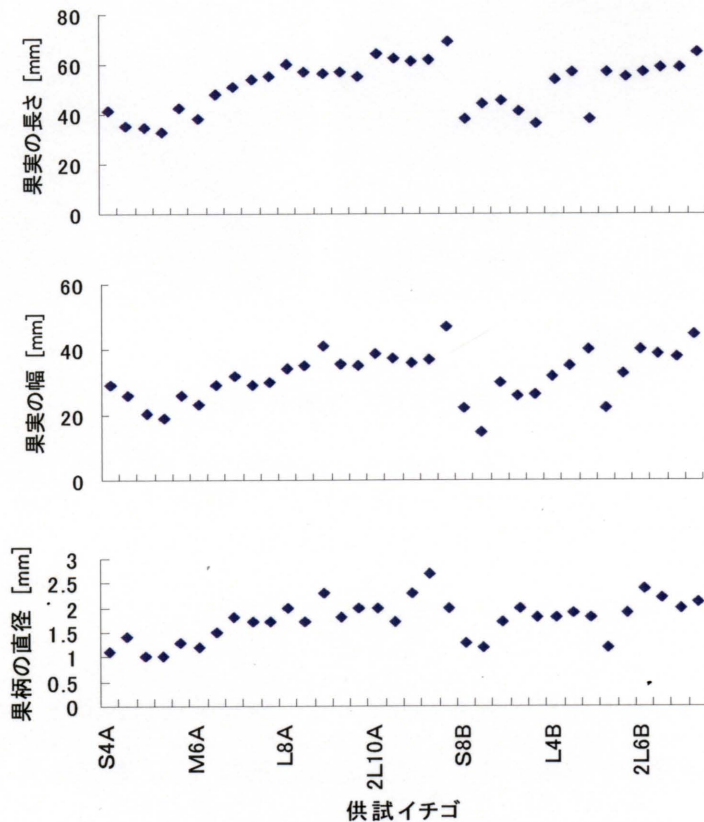


図 8-5 イチゴの物理的特徴

Fig. 8-5 Physical feature of strawberry



## 2. 測定装置

採果ハンドの制御には第4章の開発機を用いた。果柄の切断力の測定は卓上型材料試験機 (ORIENTEC STA-1150) を、果柄の把持には天秤の分銅を用いた。また、未着色果、花、葉などを備えたモデル畝における配置は、図8-6に示すように、独立した果実が畝の内側に向かうようにした。内成り栽培現場では品質を守るため畝面に白色または黒色の不織布を敷くが、画像処理による果柄検出は反射などの複雑な照明の影響が予想される。そこで、適切な採果ハンドの選定には、安定性を考慮し、反射の影響が大きい白色と黒色のマルチフィルムを用い、採果ハンドを用いた採果実験には、実際の現場で使われている反射が少ない白色と黒色の不織布を用いた。

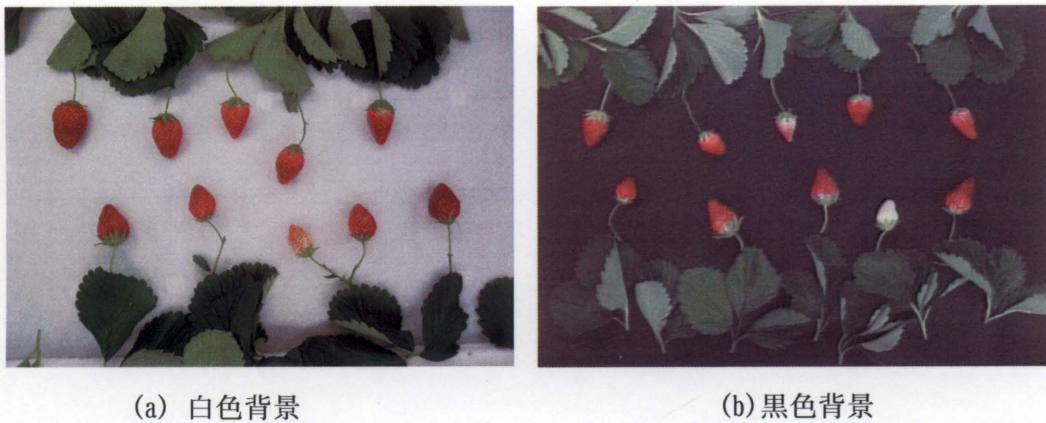


図8-6 モデル畝における配置

Fig. 8-6 Arrangement in model ridge

## 3. 測定項目および方法

### (1) 果柄の検出

採果ハンド、果柄、畝面の位置関係は、センサによる果柄検出位置によって決まる。図8-7に示すように、安全距離 ( $h_1$ ) は畝面から採果ハンド先端までの距離であり、把持距離 ( $h_2$ ) は採果ハンド先端から把持、切断する果柄の位置までの距離である。ここで、採果ハンドが畝面を突き刺ささない条件は、 $h_1 > 0\text{mm}$  を満足することである。また、果柄の直径は  $0.5 \sim 3.0\text{mm}$  の範囲にあるため、果柄を把持・切断することが出来ると判断される条件は、 $h_2 > 3.0\text{mm}$  を満足することである。



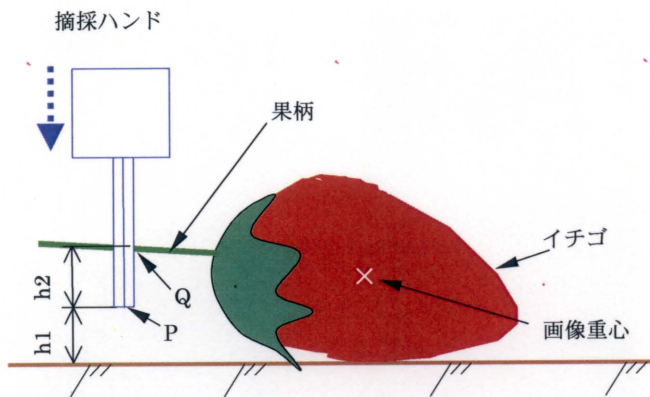


図 8-7 安全距離、把持距離の測定

Fig. 8-7 Measurement of safe distance and holding distance

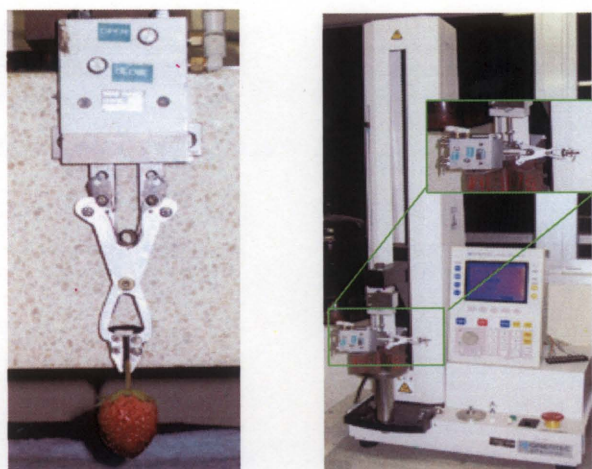
各タイプの採果ハンドにおける  $h_1$  及び  $h_2$  は、サイズ毎に 5 個ずつ、計 25 個のイチゴを用いて離層から 15mm 離れた果柄位置を採果位置とし、果柄が検出されハンドが停止した時に計測した。果柄の認識における適切な採果ハンドは  $h_1$  と  $h_2$  の平均値、標準偏差 SD を比較して検討した。

#### (2) 果柄の把持および切断

採果ハンドは、果柄を確実に切断し、採果した果実の果柄を把持してベルトコンベアに搬送する必要がある。また、収穫してから消費までは時間があるため、果柄の把持部分には圧迫などの傷が少ないことが望ましい。そこで、果柄の把持、果柄の切断力の実験装置は図 8-8 に示す。

果柄の把持は、図 8-8(a) に示すように、果柄の直径 1.0mm, 2.5mm ごとに天秤の錘 10g, 20g, 40g, 60g, 80g を取り付けながらフィンガで果柄を把持した場合、押し切り型とハサミ切り型における把持具合と果柄の圧迫跡を比較検討した (3 回ずつ)。

果柄の切断力は卓上型材料試験機の支持台にハサミを取り付け、エアハンドのスライダを押しながら果柄が切断された時の最大圧縮力を測定して、エアハンドのスライダの抵抗を引いた値とした。果柄の切断は、図 8-8(b) に示すように、直径 1.2mm, 2.0mm, 2.5mm の果柄ごとに、押し切り型とハサミ切り型における切断力を比較検討した (3 回ずつ)。また、作業効率の向上、エネルギーの節約のために、切断力が小さい果柄の把持・切断機構において、作業圧縮空気圧を果柄が切断できる 0.5 Mpa から 0.1 Mpa 間隔で下げながら、圧縮空気タンク (マキタ社) を用いて果柄が確実に切断できる最小圧力を検討した。



(a) 把持

(b) 切断

図 8-8 果柄の把持および切断力の計測

Fig. 8-8 Measurement the holding and power of cutting for peduncle

### (3)適切な採果ハンドによる採果実験

上記の果柄の検出，果柄の把持，切断における実験結果から，最も適切な採果ハンドを選定し採果実験を行った。

採果ハンドの有用性は，果柄の認識結果  $P$  および  $\alpha$ （第 6 章を参照）を用いて採果ハンドを制御して果柄の把持・切断実験を行い，採果ハンドが  $P$  へ正しく降下して果柄を把持・切断するかどうか，失敗したときに安全装置が作動するかどうかを確認しながら検討した。果柄認識の実験と同じく，果柄を含む果実は 10 個（未着色および収穫適期を含む）を 1 ユニットとして，白色と黒色の不織布のモデル畝にランダム配置して，5 ユニット（果実個数 50 個）を用いた。

## 第 4 節 結果および考察

### 1. 果柄の検出

図 8-9 にサイズごとにおける採果ハンドの安全距離  $h1$  と把持距離  $h2$  を示す。 $h1$  は，果実が大きいくほど大きくなる傾向があり，白色背景ではタイプ I とタイプ II は 0 に近くなる場合が，黒色背景ではタイプ II が 0 に近くなる場合があったが，タイプ III は背景と関係なく最も大きかった。 $h2$  はタイプ II が背景の影響が少なく最も大きく，タイプ I とタイプ III



はほぼ同じであった。タイプⅠとタイプⅡは、果柄の検出に背景の影響を受けても畝面さえ検出できれば果柄を把持できるが、畝面の反射の影響などで畝面の検出ミスがあった場合は畝面を刺し破ることが懸念された。タイプⅢは果柄の検出に背景の影響を受けず果柄を把持でき、周辺の照明に影響されず畝面を刺し破らないことが示唆された。

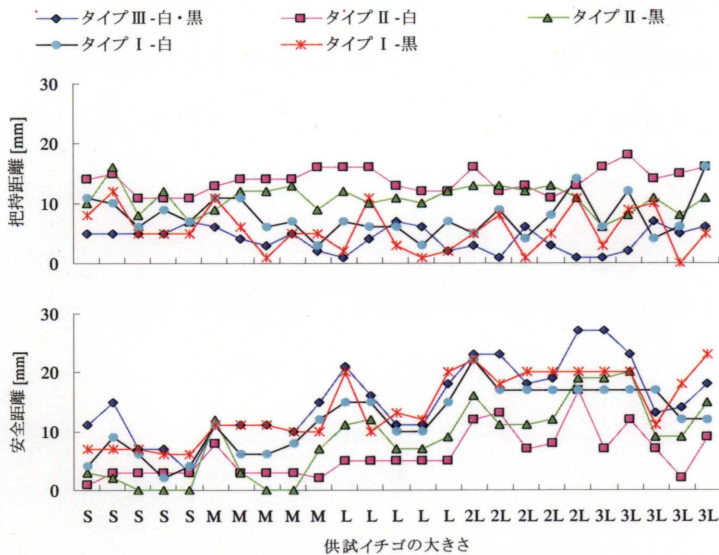


図 8-9 安全距離と把持距離

Fig. 8-9 Safe distance and holding distance

図 8-9 の結果を用いた果柄検出の評価は表 8-2 に示すように、タイプⅢが h1 の平均値 15.5mm と安全性が最も高く、h2 の平均値 4.0mm と最も安定した。これは、センサが横向きで果柄を検出する場合、背景の影響が少なく果柄までの検出する距離がほぼ一定になるためである。

表 8-2 果柄検出の評価

Fig. 8-2 Evaluation of handle detection of fruits

採果ハンド アンプの設定値 背景	タイプⅠ		タイプⅡ		タイプⅢ	
	15 白色	3 黒色	40 白色	15 黒色	35 白色	35 黒色
安全距離 平均値	12.3	14.4	6.3	8.8	15.5	15.5
h1 [mm] 標準偏差	5.0	5.6	3.9	6.3	6.2	6.2
把持距離 平均値	7.6	5.5	13.8	10.8	4.0	4.0
h2 [mm] 標準偏差	3.3	3.5	2.0	2.3	2.0	2.0

よって、果柄の検出において、安全性を優先し、栽培環境における背景、葉、隣接果実、花などによる複雑な光の反射を考慮した場合、タイプⅢが最も安全で安定し、適切な採果ハンドであることが確認できた。

## 2. 果柄の把持および切断

表 8-3 は押し切り型とハサミ切り型の果柄の把持結果を示したものである。ハサミ切り型は、果柄の直径と果実の重さに関係なく把持して、かつ果柄の傷は確認されなかった。一方、押し切り型は、いずれの重さにおいても果柄の直径 1.0mm の場合は把持できて傷も確認されなかったが、直径 2.5mm の場合は把持できたものの果柄に圧迫傷があった。これは、ハサミ切り型はフィンガにネジリバネを用いたため、果柄の直径が小さい場合はやや軽く、果柄の直径が大きい場合はやや強く、果柄の直径に合わせて把持力を調整できるからである。押し切り型はフィンガが閉じたときの隙間が決まっているので、果柄の直径が小さい場合は十分把持できないことが、果柄の直径が大きい場合は押しつぶすことが主な原因と考えられる。

よって、果柄の把持において、ハサミ切り型は果柄の直径に合わせて把持力を調整できかつ果柄に傷をつけず、安全係数を考慮し、60g より重い 80 g まで確実に把持できたことから、タイプⅡとタイプⅢの採果ハンドが最も適していることが確認できた。

図 8-3 果柄の把持の評価

Fig. 8-3 Evaluation of holding of peduncle

			重さ [g]									
			10 [g]		20 [g]		40 [g]		60 [g]		80 [g]	
			把持	果柄の傷なし	把持	果柄の傷なし	把持	果柄の傷なし	把持	果柄の傷なし	把持	果柄の傷なし
果柄の直径 [mm]	1.0	押し切り型	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		ハサミ切り型	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
2.5	押し切り型	○	×	○	×	○	×	○	×	○	×	
	ハサミ切り型	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	

表 8-4 は押し切り型とハサミ切り型の果柄の切断力を示す。ハサミ切り型と押し切り型の切断力は、果柄の直径 1.2mm では 8.0N と 18.7N，果柄の直径 2.0mm では 12.0N，31.0N，果柄直径 32.5mm では 20.7N，37N であった。果柄の切断力は果柄の直径が大きくなるにつれて大きくなる傾向があり、すべての果柄の直径においてハサミ切り型が押し切り型より

小さかった。これは、ハサミで切る場合、「テコの原理」を利用して、2枚の刃をすりあわせることで断ち切っていることが考えられる。

よって、果柄の切断において、ハサミ切り型は最も小さな切断力で果柄を切断できるため、タイプⅡとタイプⅢの採果ハンドが最も適していることが確認できた。

ハサミ切り型においては0.1~0.5 Mpaすべての範囲で果柄が切断できることが確認できたが、作業効率、エネルギーの節約という観点から見ると、果柄の切断に必要な圧縮空気の圧力は0.1 Mpaが適切であると判断した。

表 8-4 果柄の切断の評価

Table 8-4 Evaluation of cutting of peduncle

果柄の直径 [mm]	果柄の切断力 [N]	
	鉋きりタイプ	押し切りタイプ
1.2	8.0	18.7
2.0	12.0	31.0
2.5	20.7	37.0

### 3. 適切な採果ハンドによる採果実験

上記の果柄の検出、果柄の把持・切断における実験結果から、タイプⅢの採果ハンドは果柄を検出して把持・切断する機構として最も適切であることが確認できた。

黒色の不織布におけるタイプⅢを用いた場合の採果結果の一例を表 8-5 に示す。採果実験を実施した結果、把持・切断の割合は白色の不織布で 80.0%，黒色の不織布で 79.3%であった。図 8-10(a)は採果ハンドが果柄を把持・切断する状況を、図 8-10(b)は採果後の果実の一例を示したものである。実験の結果、目標通りに果実を傷つけず、果柄を検出して把持・切断できたこと、果柄の長さが設定値にほぼ揃ったことが確認できた。採果ミスは、採果ハンドが果柄を押ししたり、果実に接触したりしたことであった。果柄の検出ができなかった果実では安全装置が機能した。また、把持・切断できた果実は全てベルトコンベア位置へ搬送され、フィンガを開いてベルトコンベア上に搬出することができた。

タイプⅢの採果ハンドは、P および  $\alpha$  の値を用いて正確に果柄を検出し、把持・切断できたため、その有用性を確認した。



表 8-5 黒色の不織布における収穫結果の一例

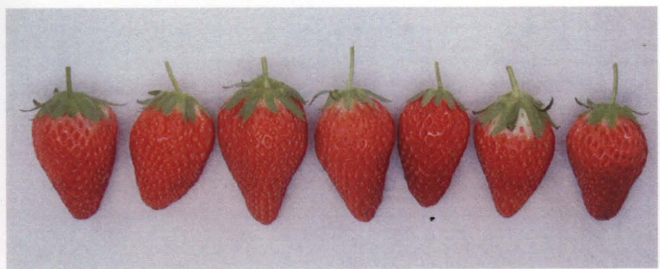
Table 8-5 Example of harvest result in black nonwovens

実験 No.	試料 No.	熟度	大きさ	$\alpha$ [°]	P	把持・切断	果柄の切断長さ[mm]
1	1	A	S	207	○	×	—
	2	A	M	42	○	○	14.0
	3	B	S	52	○	○	10.0
	4	A	L	315	○	○	12.1
	5	D	L	—	—	—	—
	6	A	L	256	○	○	10.0
	7	A	L	268	×	×	—
	8	C	S	266	○	○	13.3
	9	B	L	68	○	○	10.0
	10	A	M	223	○	○	18.6
5	41	B	2L	283	○	○	8.0
	42	A	2L	11	○	×	—
	43	D	M	—	—	—	—
	44	A	S	326	○	○	11.0
	45	A	2L	323	○	○	17.0
	46	A	M	30	×	×	—
	47	A	M	325	○	○	15.0
	48	B	M	269	×	×	—
	49	A	2L	215	○	○	8.4
	50	B	2L	89	○	○	10.8

注：A：9・10分着色，B：7・8分着色，  
 C：5・6分着色，D：4分着色以下，  
 ○：測定可，×：測定不可，—：未処理



(a) 果柄の把持・切断状況



(b) 採果後の果実の一例

図 8-10 採果ハンドによる果柄の把持・切断

Fig. 8-10 Holding and cutting of peduncle by picking hand

## 第5節 摘 要

開発した採果ハンドは果柄認識の結果（果柄の採果位置  $P$  および方向角  $\alpha$ ）を用いて、垂直方向での果柄を検出して把持・切断する機構とした。果柄の検出における光ファイバセンサの向きは、タイプⅠ、Ⅱが縦向き、タイプⅢが横向きとした。果柄の把持・切断機構はタイプⅠが押し切り型、タイプⅡ、Ⅲがハサミ切り型とした。これらのタイプの採果ハンドについて果柄の検出、果柄の把持、果柄の切断の比較実験を行い、適切な採果ハンドとしてタイプⅢを選定し、この採果ハンドによる採果実験を行った結果、以下の知見を得た。

1) 果柄の検出において、センサが横向き型のタイプⅢは、背景の影響が少なく、安全距離  $h_1$  の平均値が 15.5mm と最も安全で、把持距離  $h_2$  の平均値も 4.2mm と安定したため、最も適切であることが確認できた。

2) 果柄の把持・切断において、タイプⅢのハサミ切り型は、果柄に傷をつけず果柄の直径に合わせて把持力が調整でき、より小さな空気圧で果柄が切断できた。フィンガの把持力は重さが 80g の果実にも対応でき、ハサミによる切断は圧縮空気圧 0.1Mpa で直径 3.0mm 以下の果柄を切断できることを明らかにした。

3) 最も適切なタイプⅢは、 $P$  および  $\alpha$  の値を用いて、白色の不織布では 80.0%、黒色の不織布では 79.3%で、正確に果柄を検出し、一定の長さで果柄の把持・切断が可能であることが確認できた。果柄の検出ができなかった果実では安全装置が機能した。また、把持・切断できた果実は全てベルトコンベア位置へ搬送され、フィンガを開いてベルトコンベア上に搬出することができた。よって、タイプⅢの採果ハンドの有用性を確認した。

## 引用文献

- 1) 近藤直：農業ロボット開発の課題と展望 (2) ロボットハンドの研究開発の課題と展望，農業機械学会誌，58(1)，139～144，1996
- 2) 有馬誠一，近藤直，芝野保徳，藤浦建史，山下淳，中村博：キュウリ収穫ロボットの研究 (第2報)，農業機械学会誌，56(6)，69～76，1994
- 3) Monta, M., Kondo, N., Ting, K.C. : End-effectors for tomato harvesting robot,

Artificial Intelligence Review, 12(1-3)11~25, 1998

- 4) 林茂彦, 雁野勝宣, 黒崎秀仁, 有馬誠一, 門田充司: V字型整枝されたナスを対象としたロボット収穫システム(第2報), 植物工場学会誌, 15(4) 211~216, 2003
- 5) 有馬誠一, 近藤直, 八木洋介, 門田充司, 吉田裕一: 高設栽培用イチゴ収穫ロボット(第1報), 植物工場学会誌, 13(3) 159~166, 2001
- 6) Yongjie Cui, Masateru Nagata, Yoshinori Gejima, Kenji Hiyoshi, Taichi Kobayashi, Jasper Tallada : Detection of the Perpendicular Position (Distance) of the Strawberry Fruits by the Ultrasonic Sensor, COLLECTION OF EXTENT ABSTRACTS 2004 CIGR International Conference · Beijing, China, (Volume.1) II -41, 2004
- 7) 永田雅輝, 梶島芳徳, 日吉健二, 崔永杰: イチゴの収穫システムの開発に関する研究(第4報), 第61回農業機械学会年次大会講演要旨, 岩手大学, 177~178, 2002
- 8) 永田雅輝, 梶島芳徳, 日吉健二, 崔永杰: イチゴの収穫システムの開発に関する研究(第3報), 第61回農業機械学会年次大会講演要旨, 岩手大学, 179~180, 2002
- 9) 崔永杰・小林太一・永田雅輝: イチゴ収穫ロボットの超音波センサに関する基礎研究, 宮崎大学学报, 51(1・2) 9~17, 2005
- 10) 永田雅輝, 崔永杰, 川末紀功仁, 大山茂樹: イチゴ収穫・選別ロボットの研究, Proceedings of the 2005 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, Kobe, Japan, 2A1-S-004(1)~2A1-S-004(4), 2005
- 11) 崔永杰, 永田雅輝, 郭峰, 日吉健二, 木下統, 御手洗正文: マシンビジョンによる内成り栽培用イチゴ収穫ロボットの研究(第2報), 農業機械学会誌, 69(2), 60~68, 2007
- 12) KEYENCE: KEYENCE センサ・制御機器ハンドブック, 7~52, 大阪, 2002